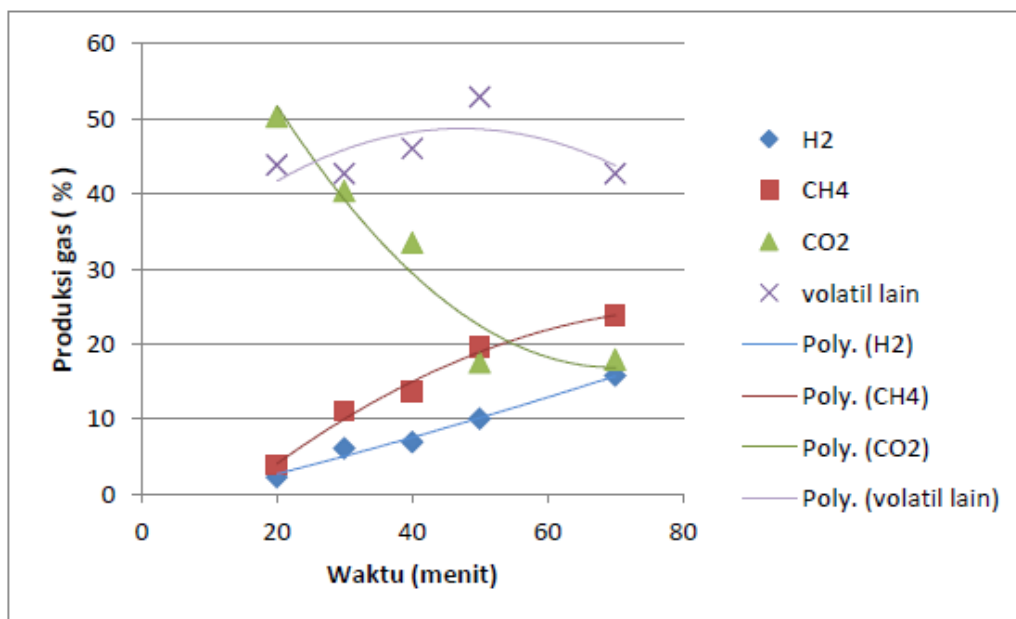


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian produk gas hasil pirolisis dengan menggunakan variabel bebas temperatur pemanasan pada saat pirolisis yaitu 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C yang telah dilakukan oleh Amin 2015, mendapatkan suatu grafik hubungan antara waktu terhadap persentase gas pirolisis dengan temperatur 700°C.

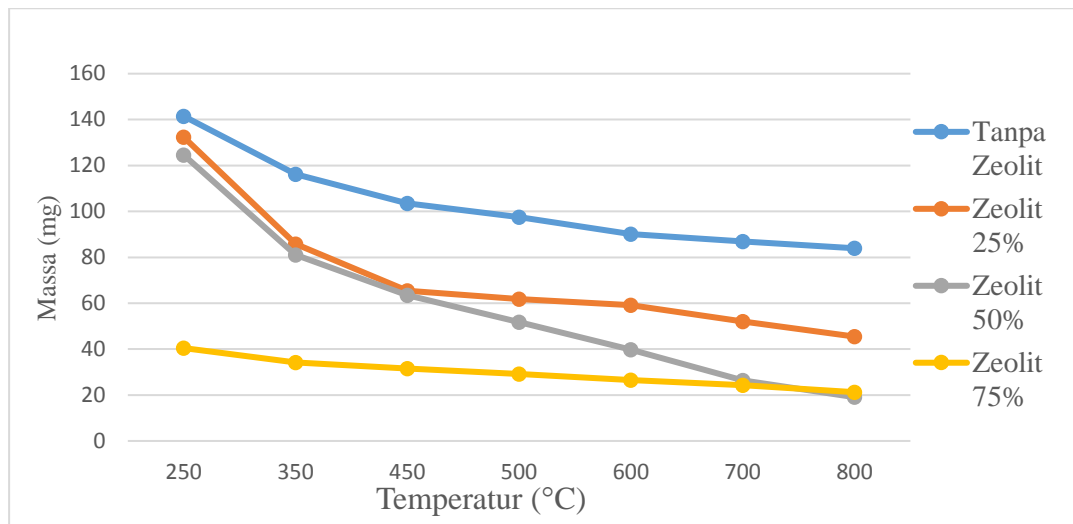


Gambar 2.1 Grafik Hubungan antara waktu terhadap presentase gas pirolisis dengan temperatur 700°C

Sumber: Amin, 2016

Dari Gambar 2.1 dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya waktu dan temperatur maka *Flowrate* dan volume gas total yang terbentuk semakin tinggi. Ini terjadi karena selulosa, hemiselulosa dan lignin yang terkandung pada biomassa semakin banyak yang terdekomposisi (Amin, 2015).

Penelitian produk hasil pirolisis Char menggunakan kayu mahoni sebagai biomassa tanpa katalis dan memvariasikannya dengan penambahan zeolit 25%wt, 50%wt, 75%wt serta laju pemanasan oleh Hakim, Permana dan Sokhib 2017. Penelitian tersebut menghasilkan grafik



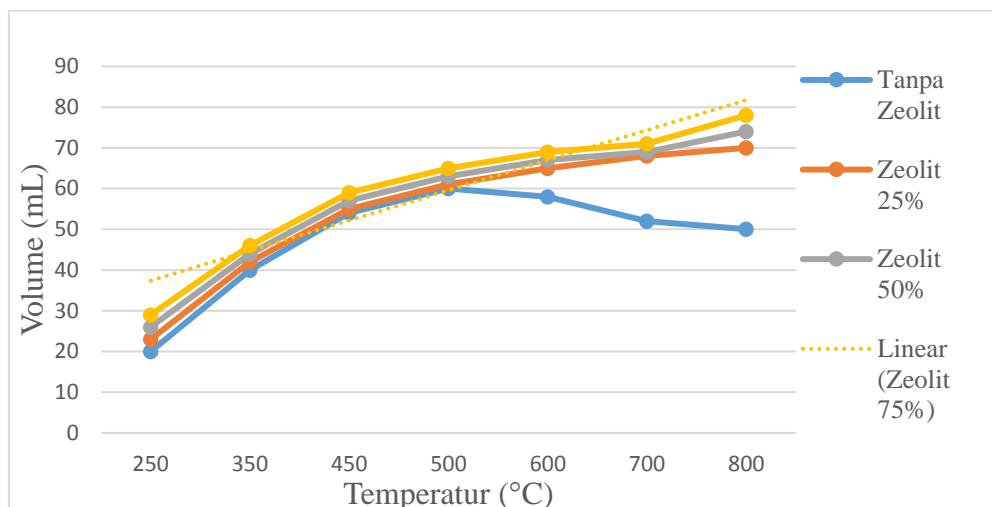
Gambar 2.2 Grafik hubungan temperatur terhadap massa produk hasil char pirolisis

Dari gambar 2.2 grafik hubungan temperatur terhadap massa produk hasil char pirolisis tanpa zeolit dan dengan zeolit 25%wt, 50%wt dan 75%wt dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggi temperatur pirolisis maka arang aktif (*char*) yang dihasilkan akan semakin sedikit. Hal ini disebabkan karena zeolit mempercepat dekomposisi pada biomassa sehingga Produk arang aktif (*char*) yang dihasilkan dari pirolisis dengan penambahan katalis zeolit sebanyak 25%wt, 50%wt dan 75%wt menjadi lebih sedikit karena biomassa lebih cepat terdekomposisi dibandingkan dengan tanpa menggunakan zeolit sebagai katalis.

Hakim 2017 menjelaskan menurut Sadeghbeigi 2012 sesuai dengan mekanisme pemecahan rantai karbon panjang menjadi rantai karbon pendek. Ada dua mekanisme yang terjadi yaitu *thermal cracking* dan *catalytic cracking*. Hal yang terjadi pada *thermal cracking* yaitu kalor yang ditambahkan menyebabkan pemisahan pada rantai karbon menjadi radikal bebas dimana salah satu atomnya mengalami kekurangan elektron sehingga menjadi sangat reaktif. Semakin tinggi temperatur maka rantai hidrokarbon tipe parafin (alkana) akan banyak terpotong melalui jenis *thermal cracking* dan berubah bentuk menjadi bentuk parafin yang lebih pendek lagi (C_2) dan banyak menjadi olefine (alkena) serta rantai hidrokarbon yang memiliki sedikit percabang. Lalu pada pirolisis menggunakan zeolit terjadilah *catalytic cracking* dimana jenis cracking ini sedikit berbeda dengan *thermal cracking* yaitu jadi parafin yang terpotong menjadi produk parafin dengan jumlah karbon yang lebih banyak dari *thermal cracking* yaitu C_3 - C_6 dan sedikit yang menjadi olefine (alkena) serta rantai hidrokarbon yang memiliki banyak percabang.

Kemudian pada penelitian yang lainnya. Yaitu penelitian untuk Tar menggunakan kayu mahoni sebagai biomassa tanpa katalis dan memvariasikannya dengan penambahan zeolit

25%,50% serta laju pemanasan oleh Soeharto dan Arasyid 2017. Penelitian tersebut menghasilkan grafik.



Gambar 2.3 Grafik hubungan temperatur terhadap volume produk hasil tar pirolisis

Dari gambar 2.3 dapat dilihat bahwa volume produk hasil pirolisis tar tanpa menggunakan tambahan katalis zeolit dengan variasi suhu 250°C hingga 500°C mengalami kenaikan, sedangkan pada variasi suhu diatas 500°C mengalami penurunan. Pada volume produk hasil pirolisis tar dengan tambahan katalis zeolit 25% wt dan 50% wt mulai dari 250°C hingga 800°C mengalami peningkatan. Dalam hal ini, untuk volume produk hasil pirolisis tar dengan tambahan katalis zeolit 75%wt dapat diasumsikan meningkat sesuai dengan kecenderungan pada grafik pirolisis dengan zeolit 25%wt dan 50% wt.

Dari grafik Hubungan temperatur terhadap volume produk hasil tar pirolisis tanpa zeolit dan dengan zeolit 25% dan 50% dapat di tarik kesimpulan bahwa pirolisis dengan menggunakan katalis berjenis zeolit menghasilkan semakin tinggi temperatur pirolisis maka kecendrungan hasil produk pirolisis volume tar semakin banyak. Hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi temperatur yang digunakan menyebabkan semakin banyak biomassa yang terdekomposisi termal maka semakin besar volume hasil produk pirolisis (Arasyid 2017).

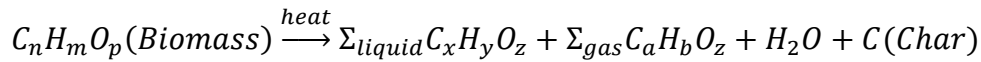
2.2 Pirolisis

Pirolisis merupakan proses dekomposisi termal yang terjadi tanpa adanya oksigen atau dengan sedikit oksigen yang bertujuan untuk mengubah biomassa menjadi arang padat (Char), *Bio-Oil* (Tar) dan gas (Chitti en Kemiha, 2013).

Setiap komponen lignoselulosa yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin dilarutkan pada tingkat mekanisme dan jalur yang berbeda. Lignin terdekomposisi pada rentang temperatur yang lebih luas dibandingkan dengan selulosa dan hemiselulosa yang mana selulosa dan

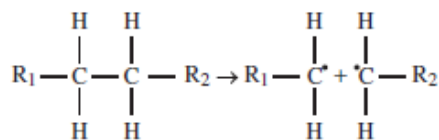
hemiselulosa lebih cepat terdegradasi pada rentang temperatur yang lebih sempit. Oleh karena itu terdapat stabilitas termal lignin yang nyata selama pirolisis (Chitti en Kemiha, 2013).

Berikut adalah proses reaksi pirolisis yang digambarkan secara sederhana:



Sumber: Basu, 2010

Uji Termogravimetri (TGA) pada pirolisis menunjukkan bahwa ada tiga tahapan untuk proses pirolisis tipe biomassa. Tahap pertama yaitu pra-pirolisis, dimana terjadi pada temperatur antara 120°C dan 200°C dengan sedikit penurunan berat biomassa ketika terjadi beberapa penyusunan internal seperti kerusakan ikatan, munculnya radikal bebas dan pembentukan gugus karbonil yang berlangsung sesuai dengan sedikit pelepasan air (H₂O), karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂). Tahap kedua yaitu pirolisis utama dimana terjadi dekomposisi padat disertai dengan penurunan berat massa biomassa yang signifikan dari biomassa awal. Tahapan terakhir yaitu devolatisasi char terus – menerus yang disebabkan oleh pembelahan lanjutan dari ikatan C-H dan C-O tergantung pada temperatur reaksi, laju pemanasan, dan waktu tinggal (Chitti en Kemiha, 2013).



Gambar 2.4 Pemecahan senyawa menjadi radikal bebas

Sumber: Sadeghibeigi (2012)

Pirolisis dapat diklasifikasikan menurut hasil berat produk menjadi *Slow Pyrolysis*, *Fast Pyrolysis* dan *Flash Pyrolysis*. Berikut penjelasannya.

Table 1 – Typical product weight yields (dry wood basis) obtained by different modes of pyrolysis of wood.				
Mode	Conditions	Liquid	Solid	Gas
Fast	~ 500 °C, short hot vapour residence time ~ 1 s	75%	12% char	13%
Intermediate	~ 500 °C, hot vapour residence time ~ 10–30 s	50% in 2 phases	25% char	25%
Carbonisation (slow)	~ 400 °C, long vapour residence hours → days	30%	35% char	35%
Gasification	~ 750–900 °C	5%	10% char	85%
Torrefaction (slow)	~ 290 °C, solids residence time ~ 10–60 min	0% unless condensed, then up to 5%	80% solid	20%

Gambar 2.5 Typical product weight yields (dry wood basis) obtained by different modes of pyrolysis of wood

Sumber: Bridgwater, 2012

2.2.1 Slow Pyrolysis

Dalam *slow pyrolysis*, biomassa biasanya dipanaskan sekitar 500 ° C pada laju pemanasan lambat (sampai 10-20 ° C / menit). Komponen – komponen dalam fase uap terus bereaksi satu sama lain ketika *char* dan *liquid* sedang terbentuk Waktu tinggal uap bervariasi dari 5 menit sampai 30 menit.

Hasil produk pirolisis arang (*char*) dapat diperoleh lebih tinggi dengan cara menggunakan biomassa yang memiliki kandungan lignin yang lebih tinggi serta kandungan hemiselulosa yang lebih rendah. Tidak diperlukannya ukuran partikel yang lebih kecil dari 1 mm pada *slow pyrolysis* yang memiliki waktu tinggal yang cukup lama. (Chitti en Kemiha, 2013).

2.2.2 Fast Pyrolysis

Dalam pirolisis cepat, biomassa terurai dengan cepat untuk menghasilkan sebagian besar uap dan aerosol dan beberapa *char* dan gas. Setelah dilakukannya pendinginan dan kondensasi, terbentuklah cairan gerak homogen yang berwarna coklat gelap. Cairan ini memiliki nilai pemanasan sekitar separuh dari bahan bakar minyak konvensional (Chitti en Kemiha, 2013).

Hal yang perlu diperhatikan pada pirolisis cepat yaitu

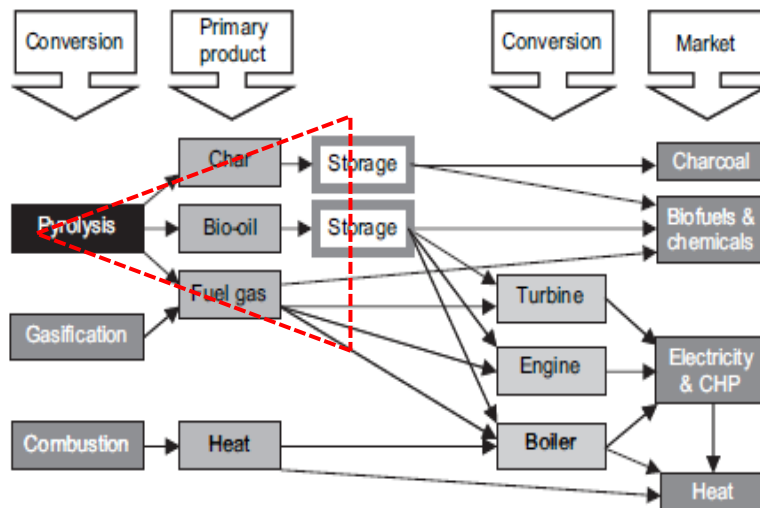
- Pemanasan yang sangat tinggi dan laju perpindahan panas. Biasanya membutuhkan ukuran partikel biomassa yang halus (<1 mm).
- Temperatur reaksi pirolisis yang dikontrol pada temperatur sekitar 500°C dengan *resistences times* yang pendek (biasanya < 2s).
- Laju Pendinginan yang cepat untuk mendapatkan produk *bio-oil*.

2.2.3 Flash Pyrolysis

Pirolisis sangat cepat (*very fast pyrolysis*) merujuk pada “*flash pyrolysis*” dimana dalam konteks studi laboratorium memerlukan laju substrat yang cepat melewati tabung yang dipanaskan di bawah gravitasi atau pada aliran gas. Temperatur dan *residence times* yang digunakan lebih tinggi dan pendek daripada yang digunakan oleh *fast pyrolysis*. Distribusi Produk utama serupa dengan *fast pyrolysis*.

2.2.4 Produk Hasil Pirolisis

Pada proses pirolisis dihasilkan tiga produk hasil pirolisis yaitu Char, Tar (*bio-oil*) dan gas



Gambar 2.6 Produk konversi biomasa
Sumber: Bridgewater, 2012

2.2.4.1 Char

Char merupakan struktur karbon berpori yang tersisa setelah fraksi hidrogen dan oksigen meninggalkan biomassa. Atau sering disebut juga sebagai residu padat setelah pirolisis. Char sering kali tercampur dengan komponen seperti mineral fraksi lainnya dan pirolisis tidak selesai, sebagian besar fraksi hidrogen dan oksigen. Char diyakini berkontribusi terhadap pembentukan hidrokarbon aromatik polisiklik (PAHs) selama pirolisis biomassa, terutama pada temperatur rendah (Chitti en Kemiha, 2013).

Properties char tidak hanya terpengaruh oleh sifat bahan induk dari material akan tetapi juga dari kondisi operasi pirolisis, terutama pada laju pemanasan, temperatur maksimum dan residence time pada temperaturnya.

2.2.4.2 Tar

Produk cair dari pirolisis biomassa juga dikenal sebagai bio-oil. Produk bio-oil ini bukanlah produk kesetimbangan termodinamika selama pirolisis, tetapi diproduksi dengan residence times yang singkat dan pendinginan cepat dari temperatur pirolisis.

2.2.4.3 Gas

Komponen utama gas produk hasil pirolisis ini adalah H_2 , CO_2 dan CH_4 bersama dengan jejak jenis C_2 . CO dan CO_2 secara istimewa diproduksi pada teperatur rendah, sedangkan H_2 diproduksi pada temperatur tinggi.

2.3 Katalis

Katalis merupakan suatu senyawa kimia yang mempercepat kecepatan reaksi kimia yang dapat terjadi pada pirolisis tanpa mengalami perubahan kimiawi diakhir reaksi. Proses ini disebut *catalytic cracking*. Katalis berperan dalam menurunkan energi aktivasi sehingga energi minimum yang dibutuhkan untuk terjadinya tumbukan berkurang yang menyebabkan reaksi berjalan cepat (Togar, 2012)

Pada rantai hidrokarbon, semakin panjang dan rumit rantai hidrokarbon maka titik lelehnya semakin tinggi sehingga dibutuhkan energi aktivasi untuk menghasilkan senyawa hidrokarbon yang pendek. Salah satu cara untuk mempercepat pemecahan rantai hidrokarbon pada pirolisis dengan cara penambahan katalis yang mana memiliki tujuan untuk memaksimalkan hasil pirolisis.

2.3.1 Penggolongan Katalis

Katalis dapat digolongkan menurut fasa katalis yaitu katalis heterogen dan katalis homogen dimana (Togar, 2012):

a. Katalis Heterogen

Katalis berbeda fasa dengan reaktan dan produk reaksinya. katalis ini berfungsi untuk melakukan proses rengkahan hidrokarbon. katalis ini memiliki pusat aktif yang tidak seragam dan tidak semua bagian permukaannya berfungsi sebagai pusat aktif. Pusat aktif dari katalis heterogen berada pada permukaan pori – pori padatan. Dengan demikian pada penelitian ini katalis yang digunakan yaitu katalis heterogen.

b. Katalis Homogen

Katalis berfasa sama dengan reaktan. Katalis memiliki selektivitas tinggi dan aktivitas tinggi, dikarenakan tiap molekul katalis bersifat aktif yang tidak mudah teracuni dengan adanya sedikit kotoran.

Tabel 2.1
Perbandingan katalis heterogen dan homogen

Elemen katalis	Heterogen	Homogen
Pusat aktivitas	Hana atom – atom pada permukaan partikel	Semua atom memiliki reaktivitas
Konsentrasi yang dibutuhkan	Tinggi	Rendah
Selektifitas	Rendah	Tinggi
Sifat difusi	Ada (Perpindahan massa mempengaruhi jalannya reaksi)	Secara praktiknya tidak ada (Kinetika yang mengendalikan)
Suhu reaksi	$>250^{\circ}\text{C}$	$50^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$
Penggunaan	Luas	Spesifik
Stuktur/stoikiometri	Sulit ditentukan	Mudah ditentukan
Kemungkinan modifikasi	Rendah	Tinggi
Daya tahan suhu	Tinggi	Rendah
Teknik Pemisahan	Suspensi, filtrasi	Distilasi, ekstrasi

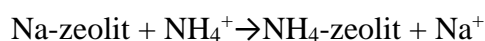
Sumber: Togar, 2012

2.4 Zeolit

Zeolit adalah mineral berstruktur kirstal almunisilikat berbentuk rangka tiga dimensi yang memiliki rongga dan saluran, mengandung ion – ion logam seperti Na, Mg, Ca, K dan Fe serta molekul air (Las dan Zamroni, 2002)

Zeolit sebagai katalisator yang baik, hal ini dikarenakan zeolit memiliki pori – pori yang besar. Ciri khusus zeolit yaitu memiliki ruang kosong yang akan membentuk saluran di dalam strukturnya. Penggunaan zeolit sebagai katalis mengakibatkan difusi molekul ke dalam ruang bebas diantara kristal dan reaksi kimia di permukaan saluran tersebut. (Togar, 2012)

Pemanfaatan zeolit sebagai katalis dikarenakan tersedianya pusat aktif dalam sistem pori katalis, dimana sistem pori katalis berhubungan dengan sifat kristal zeolit. Zeolit dapat berfungsi sebagai katalis asam karena kationnya dapat bertukar. Contohnya kation alam memiliki kation jenis alkali (misal Na^+), jika kation dipertukarkan dengan NH_4^+ yang diikuti pemanasan, maka pada permukaan zeolit akan terdapat ion H^+ . ion berfungsi sebagai pusat aktif secara katalik (Togar, 2012). Contoh penukaran kation:



No	Oksida	%Berat
1	SiO_2	64.55
2	TiO_2	0.28
3	Al_2O_3	11.22
4	Fe_2O_3	1.08
5	MnO	0.09
6	MgO	0.19
7	CaO	0.05
8	Na_2O	1.99
9	K_2O	1.09
10	P_2O_5	0.37
11	H_2O^-	3.16
12	H_2O^+	5.32
13	LOI	18.23
	Perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	5.75
	Perbandingan Si/Al	5.07

Gambar 2.7 komposisi zeolit mordenit

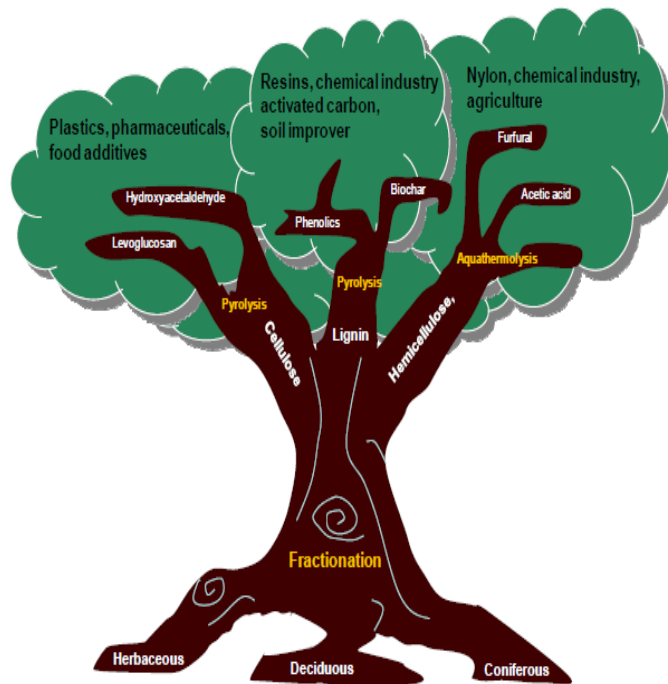
Sumber: Handhoyo et al, 2005

Secara umum, zeolit yang berfungsi sebagai padatan memiliki karakterisasi diantaranya:

- Kapasitas adsorpsi tinggi
- Dapat mereaksikan produk dan reaktan
- Luas permukaan besar
- Memiliki dimensi pori molekuler.
- Memungkinkan terjadinya *preactivation* molekul ketika pori –pori pembatas molekul medan listrik kuat,

2.5 Biomassa

Biomassa merupakan salah satu sumber daya hayati yang dapat dirubah menjadi sumber energi yang dapat diperbaharui. Biomassa adalah suatu materi biologis yang dapat diperoleh dari tumbuhan dan hewan yang terdiri dari sebagian besar karbon dan beberapa unsur lainnya dengan proporsi yang lebih sedikit seperti alkali tanah, hidrogen, nitrogen dan juga oksigen.



Gambar 2.8 Pohon fraksinasi biomassa
Sumber : Wild, 2011

Pohon termasuk biomassa dari tumbuhan yang mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin walaupun kadar air dan persentase antar komponennya berbeda – beda tiap jensinya. Biomassa berlignoselulosa seperti tanaman mahoni, di Indonesia ini berada dalam jumlah yang banyak dan memiliki potensi tinggi dalam penggunaannya pada segi energi.

Biomassa secara spesifik merujuk pada limbah pertanian seperti jerami, sekam padi dan juga limbah perhutanan seperti MSW, tinja, kotoran hewan, sampah dapur dan serbuk gergaji (Yokoyama pada Buku Panduan Biomassa Asia). Pada penelitian kali ini kayu mahoni yang digunakan sudah berupa serbuk kayu mahoni.

2.6 Kayu Mahoni

Mahoni atau spesies *Swietenia Mahagoni* termasuk dalam divisi *Spermatophyta*, subdivisi *Angiospermae*, Kelas *Dikotyledonae*, ordo *Rutales*, famili *Meliaceae* dan genus *Swietenia* (Heyne, 1987).

Tinggi pohon mahoni ini berkisar antara 30-35 m. Ketika masih muda, pohon mahoni memiliki kulit batang berwarna abu – abu dan halus, setelah pohon berumur tua, warna batang pohon berubah menjadi coklat tua. Pohon mahoni memiliki struktur daun bertandan dan menyirip yang panjangnya berkisar antara 35-50 cm yang tersusun secara bergantian, bertekstur halus, terdapat 4-6 pasang anak daun yang panjangnya berkisar 9-18 cm. memiliki bunga berukuran kecil yang panjangnya hanya 10 -20 cm, malai bercabang.



Gambar 2.9 Pohon Mahoni
Sumber: Aditya, 2017

Tanaman mahoni merupakan tanaman daerah subtropik dan tropik. Tanaman ini berasal dari Amerika Tengah yaitu Kuba, haiti, Jamaika, San Damigo dan juga dapat ditemukan di India (Heyne, 1987).

Tanaman mahoni dibudidayakan di Indonesia dan tumbuh subur di pulau jawa. Pohon ini juga banyak tumbuh liar di hutan jati dan tempat lainnya yang dekat dengan pantai. Selain itu juga mahoni ditanam yang berguna sebagai tanaman pelindung (Wijayakesuma et al.1996).



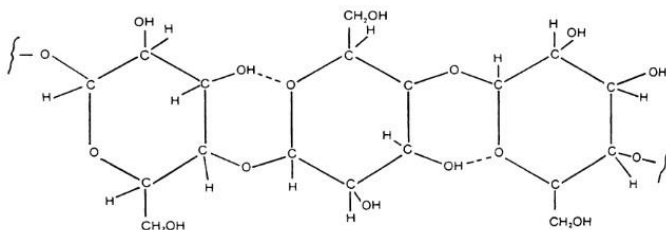
Gambar 2.10 Serbuk kayu mahoni

Pada penelitian ini kayu mahoni yang digunakan merupakan serbuk gergaji kayu mahoni yang sudah di ayak. Pengayakan serbuk kayu bertujuan untuk menghomogenkan ukuran serbuk kayu.

2.7 Komponen Utama Lignoselulosa

2.7.1 Selulosa

Selulosa ($C_6H_{10}O_5$) merupakan senyawa organik yang terdiri dari rantai linier, memiliki ikatan glikosidik (ikatan β 1 \rightarrow 4) unit D-glukosa. Selulosa merupakan bahan utama pada pembentukan dinding sel. Selulosa yang terkandung pada kapas sekitar 90% ,sedangkan pada tanaman lain sekitar 33%. Selulosa terdiri dari banyak struktur kristal dimana sebagian besar merupakan glukosa yang membuat struktur selulosa keras dan sturktur kerangka dari sebagian biomassa (basu, 2010). Berikut struktur molekul selulosa



Gambar 2.11 Struktur kimia selulosa

Sumber : Basu (2010)

2.7.2 Hemiselulosa

Hemiselulosa adalah polisakarida dengan berat molekul yang rendah. Kopolimer dari glukosa, asam glukuronat, mannose, arabinosa dan xilosa yang dapat membentuk struktur

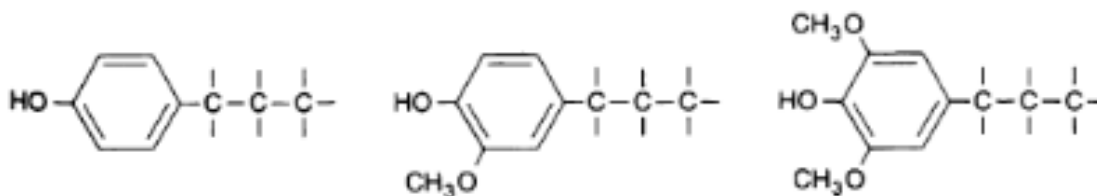
cabang atau nonlinier dengan sedikit kekuatan. Hemiselulosa mudah terhidrolisis oleh asam encer (Summerscales et al., 2010). Berikut gambar struktur kimia dari hemiselulosa:



Gambar 2.12 Struktur hemiselulosa
Sumber : Basu (2010)

2.7.3 Lignin

Lignin dibentuk dari penghilangan *non-reversible* air dan gula (terutama xilosa) untuk menciptakan unsur aromatik. Lignifikasi terjadi pada tanaman dewasa guna kestabilan mekanik tanaman. Karena lignin menjadi lebih kaku, ia melokalisasi permukaan lumen dan daerah dinding berpori untuk mempertahankan kekuatan dinding dan permeabilitas serta membantu pengangkutan air (summerscales et al., 2010). Berikut gambar struktur dari lignin



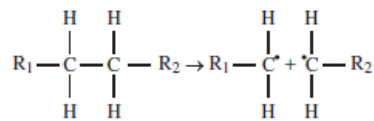
Gambar 2.13 Struktur lignin
Sumber : Basu (2010)

2.8 Efek Variasi Temperatur Terhadap Pirolisis

Dari gambar 2.11, seiring meningkatnya temperatur pirolisis, produk gas hasil pirolisis memiliki kecenderungan yang semakin besar, produk tar yang dihasilkan meningkat dan mencapai titik optimumnya lalu menurun. Sedangkan pada produk char yang dihasilkan semakin sedikit. Hal ini terjadi karena molekul yang terbentuk pada produk tar dan char terdekomposisi menjadi molekul yang lebih kecil yang akan menaikkan produk gas pada pirolisis.

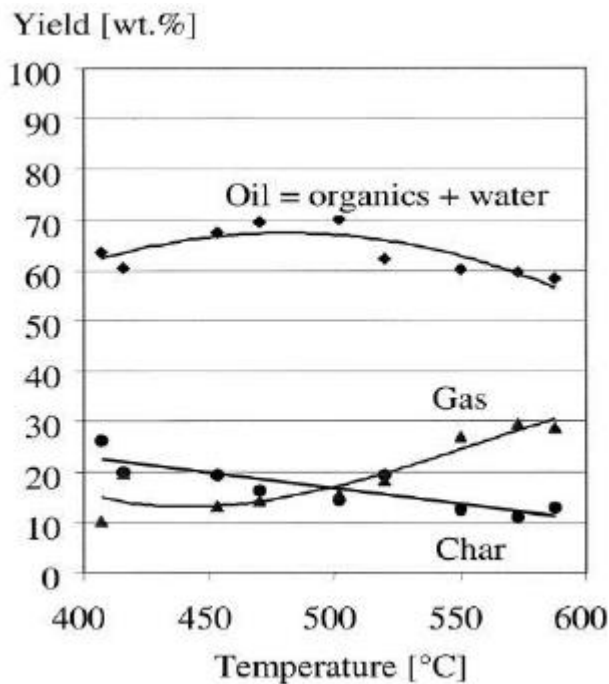
Efek Temperatur terhadap pirolisis yaitu terjadinya *thermal cracking*. *Thermal cracking* merupakan suatu proses pemecahan struktur kimia ikatan karbon dengan menggunakan panas sehingga biomassa terdekomposisi secara termal. Reaksi utama *thermal cracking* yaitu terbentuknya radikal bebas. Dimana kalor yang ditambahkan

menyebabkan pemisahan pada rantai karbon menjadi radikal bebas yang salah satu atomnya mengalami kekurangan elektron sehingga menjadi sangat reaktif (Sadeghbeigi, 2012)



Gambar 2.14 Reaksi pembentukan radikal bebas

Sumber: Sadeghbeigi (2012)



Gambar 2.15 Peningkatan produk gas hasil pirolisis

Sumber: Bridgwater, 2012

2.9 Teori GC

Kromatografi gas (GC) merupakan jenis kromatografi yang digunakan dalam kimia organik untuk pemisahan dan analisis. Oleh karena itu, senyawa-senyawa kimia yang akan dipisahkan haruslah dalam bentuk gas pula. GC dapat digunakan untuk menguji kemurnian dari bahan tertentu, atau memisahkan berbagai komponen dari campuran. Kromatologi gas memisahkan suatu campuran berdasarkan kecepatan migrasinya di dalam fasa diam yang dibawa oleh fasa gerak. Sedangkan perbedaan migrasi ini disebabkan oleh adanya perbedaan interaksi diantara senyawa-senyawa kimia tersebut (di dalam campuran) dengan fasa diam dan fasa geraknya. Interaksi ini adalah adsorpsi, partisi, penukar ion dan jel permiasi.

Prinsip kerja gas kromatografi adalah sebagai berikut, fasa gerak (*mobile phase*) membawa sampel melewati fasa diam (*stationary phase*), dimana sebagian komponen

sampel akan cenderung menempel ke fasa diam dan bergerak lebih lama dari komponen lainnya, sehingga masing-masing komponen akan keluar dari fasa diam dengan waktu yang berbeda. Dengan cara inilah komponen-komponen sampel dipisahkan. Sampel yang digunakan biasanya bersifat volatile dan tidak rusak (stabil) pada suhu tinggi. Komponen - komponen pada kromatografi gas, antara lain :

1. Carrier gas

Merupakan gas pembawa yang mengalirkan sampel melewati kolom. Syarat gas sebagai fase gerak yaitu mempunyai kemurnian tinggi, inert dan cocok dengan detektor yang digunakan. Contoh carrier gas : He, H₂, N₂, dll

2. Injektor

Berfungsi untuk menghubungkan sampel dalam syringe dengan kolom. Mengubah sampel yang berbentuk cair menjadi uap atau gas dengan cara pemanasan. Mencampur gas yang sudah berbentuk uap atau gas dengan carrier gas.

3. Kolom

Berfungsi untuk memisahkan komponen campuran menjadi komponen tunggal kecepatan aliran komponen dalam pelarut dipengaruhi oleh sifat dari komponen, suhu, dan komposisi kolom. Terdapat beberapa tipe dengan karakter yang berbeda yaitu penyusun kolom, panjang kolom, diameter kolom, diameter dalam kolom, suhu maksimal.

4. Detektor

Berfungsi mendeteksi pemisahan kolom dan mengirim sinyal ke data sistem. Jenis-jenis detektor : FID, FPD, FTD, TCD, ECD, MS. Komponen sampel yang terelusi dalam kolom menimbulkan sinyal-sinyal listrik dalam detektor sehingga terbentuk kromatogram. Waktu dan ukuran sebuah puncak kromatogram digunakan untuk identifikasi dan mengukur kadar senyawa dalam sampel.

2.10 Keseimbangan Massa

Hukum Lomonosov-Lavoisier atau hukum kekekalan massa adalah hukum yang menyatakan massa dari suatu sistem tertutup adalah konstan walaupun terjadi berbagai macam proses di dalam sistem tersebut (massa zat sebelum dan sesudah reaksi pada sistem tertutup sama/konstan). Pernyataan umum yang digunakan untuk menyatakan hukum kekekalan massa ialah massa dapat berubah bentuk tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Pada proses kimiawi di dalam suatu sistem tertutup, massa dari reaktan harus sama dengan massa produk (massa reaktan = massa produk).

Kesetimbangan massa menjelaskan mengenai massa yang melewati proses pengolahan. Setiap bentuk kesetimbangan didasari oleh hukum konservasi dimana jika proses berlangsung tanpa terjadi akumulasi (Tidak adanya tambahan massa dari luar), maka massa yang masuk ke dalam sistem akan sama dengan massa yang ke luar sistem.

Berdasarkan rumus dapat dituliskan sebagai berikut:

- Massa masuk = massa ke luar + massa terkumpul
- Masa reaktan = massa produk
- Bahan Baku = Produk + sisa + bahan baku tertumpuk

Hukum lavoisier pada ilmu kimia diaplikasikan Pada penelitian ini. Hukum ini digunakan untuk menentukan jumlah produk pirolisis yang berupa char, tar dan gas yang dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$massa\ reaktan = massa\ produk$$

$$massa\ biomassa = massa\ char + massa\ tar + massa\ gas$$

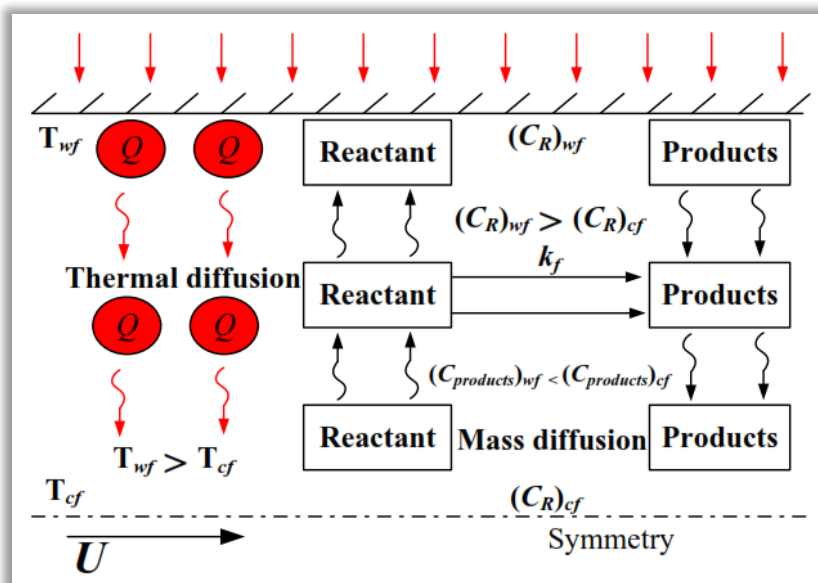
Pada katalitik pirolisis dengan zeolit sebagai katalis maka persamaan akan menjadi sebagai berikut :

$$massa\ reaktan = massa\ produk$$

$$massa\ biomassa + massa\ zeolit = massa\ char + massa\ gas + massa\ zeolit$$

2.11 Heat & Mass Transfer

Perpindahan panas dan massa dipengaruhi oleh proses pirolisis. karena pada proses pirolisis transformasi massa dan energi dalam reaksi endotermik. Dengan pengaruh lapisan batas termal, pirolisis dimulai dari daerah dekat dinding dan secara bertahap berkembang menjadi aliran inti, yang selanjutnya menghasilkan keseragaman distribusi konsentrasi reaktan dan produk. (Feng, 2017)

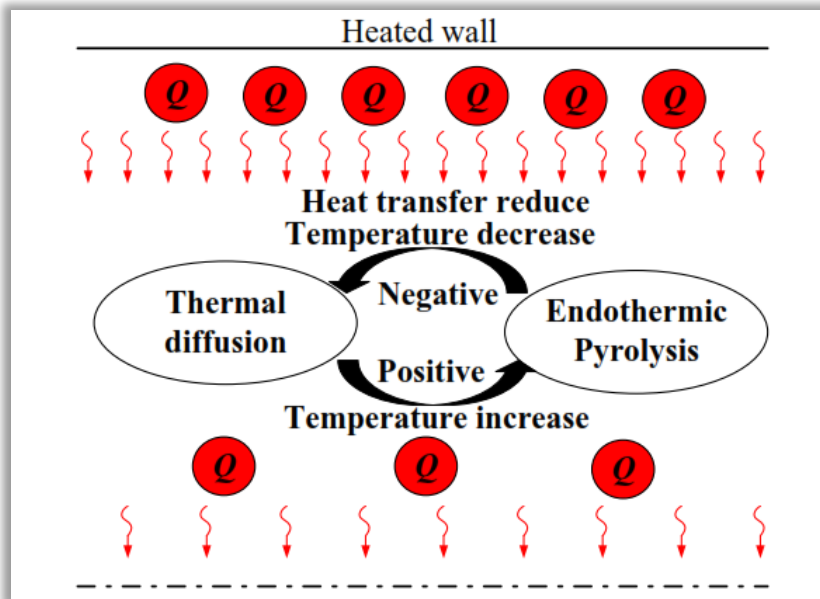


Gambar 2.16 Diagram skematik panas radial dan perpindahan massa
Sumber: Feng, 2017

Seperti yang tergambar pada diagram skematik panas radial dan perpindahan panas konsentrasi reaktan di dekat dinding ($(C_R)_{cf}$) lebih rendah dari pada arus inti sedangkan konsentrasi produk yang dekat dengan dinding lebih tinggi dari pada aliran inti, yang menyebabkan arah perpindahan massa reaktan berbeda dari produk. (Feng, 2017)

Perpindahan panas pada proses pirolisis dipengaruhi oleh laju pemanasan (*heating rate*), karena perubahan besar sifat termofisik cairan dalam saluran panas. Tingkat reaksi fluks panas di dekat dinding meningkat, seperti yang ditunjukkan pada diagram skematik panas radian dan perpindahan, dua pengaruh disebabkan oleh kenaikan laju reaksi di dekat dinding, yaitu:

1. Gradien suhu radial di dekat dinding menurun karena kenaikan laju energi panas yang ditransformasikan menjadi energi kimia.
2. Molekul kecil diproduksi dan menyebabkan penurunan kepadatan tambahan, sehingga kecepatan di dekat dinding meningkat dengan kenaikan laju reaksi, yang berakibat pada penurunan gradien kecepatan radial dan tegangan geser. (Feng, 2017)



Gambar 2.17 Diagram skema hubungan gabungan antara perpindahan panas dan pirolisis
Sumber: Feng, 2017

2.12 Hipotesa

Dengan semakin tingginya temperatur pirolisis maka produk hasil pirolisis char semakin menurun. Menurut kesetimbangan massa, massa dari suatu sistem tertutup konstan dimana massa reaktan = massa produk, sehingga ketika produk hasil char menurun maka produk hasil pirolisis tar dan gas meningkat.

Dan dengan ditambahkannya zeolit sebagai katalisator, membuat proses dekomposisi semakin baik yang menyebabkan rantai senyawa semakin pendek. Menghasilkan produk gas hasil pirolisis yang semakin banyak.